



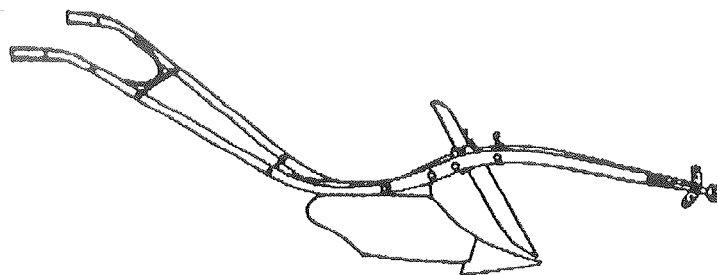
Institutionen för
Markvetenskap
Uppsala

MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,
S-750 07 Uppsala.

Department of Soil Sciences,

Bulletins from the Division of Soil Management



Nr 20

Carl Blackert

**PLÖJNINGSFRI ODLING OCH STRUKTUR-
KALKNING PÅ LERJORDAR**

**Effekter på markfysikaliska egenskaper
och avkastning**

*Ploughless tillage and structural liming on clay soils
Effects on soil physical characteristics and yield*

ISSN

1102-6995

ISRN

SLU-JB-M--20--SE

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för jordbearbetning

Meddelanden från jordbearbetnings-
avdelningen. Nr 20, 1996.
ISSN 1102-6995
ISRN SLU-JB-M--20--SE

Carl Blackert

Plöjningsfri odling och strukturkalkning på lerjordar

Effekter på markfysikaliska egenskaper och avkastning

Ploughless tillage and structural liming on clay soils

Effects on soil physical characteristics and yield

Mätningarna genomfördes år 1995 i åtta försök tillhörande serien R2 - P76S, odlingssystem på lerjordar. Försöksserien startades år 1987.

Examensarbete i jordbearbetning

Handledare: Maria Stenberg

Förord

Detta meddelande presenterar resultaten från mitt examensarbete som utförts på avdelningen för jordbearbetning, institutionen för markvetenskap, SLU. Syftet med examensarbetet var att utvärdera åtta försök där plöjningsfri odling och strukturskalkning provades samt att nå ökad klarhet i på vilka jordar detta bör tillämpas. Fältarbetet genomfördes tillsammans med Richard Ivarsson under 1995. Detta examensarbete redovisar huvudsakligen resultatet av de markfysikaliska mätningarna medan Ivarsson i sitt examensarbete inriktar sig på markbiologiska faktorer.

Jag skulle vilja tacka alla er vid avdelningen för jordbearbetning som hjälpt mig under arbetets gång. Även tack till Erik Brunfelter som kommit med många givande synpunkter och visat stort intresse för försöken. Richard Ivarsson ska ha ett stort tack för att han ställde upp så mycket med arbetet i fält. Speciellt vill jag tacka min handledare, Maria Stenberg, som alltid glatt har hjälpt till att lösa de problem som uppkommit under arbetets gång.

Ultuna 30/3 1996

Carl Blackert

Innehållsförteckning

Inledning.....	2
Material och metoder.....	4
Försöksplatser.....	4
Försöksplan.....	4
Nederbörd.....	6
pH.....	6
Såbäddens egenskaper.....	6
Torr skrymdensitet och porstorleksfördelning.....	6
Luftgenomsläpplighet.....	7
Penetrationsmotstånd.....	7
Dragmotstånd.....	7
Plantantal och skörd.....	7
Resultat och diskussion.....	8
Sundby.....	8
pH.....	8
Såbäddens egenskaper.....	8
<i>Bearbetningsdjup</i>	8
<i>Vattenhalt</i>	8
<i>Aggregatstorleksfördelning</i>	9
Torr skrymdensitet och porstorleksfördelning.....	10
Luftgenomsläpplighet.....	12
Penetrationsmotstånd.....	14
Dragmotstånd.....	15
Plantantal.....	15
Skörd.....	18
Limsta.....	19
Såbäddens egenskaper.....	19
<i>Bearbetningsdjup</i>	19
<i>Vattenhalt</i>	20
<i>Aggregatstorleksfördelning</i>	20
Luftgenomsläpplighet.....	21
Plantantal.....	23
Skörd.....	24
Slutsatser.....	25
Sammanfattning.....	26
Summary.....	27
Litteraturförteckning.....	28

Inledning

Under 80- och 90-talet har kultivatorer och såmaskiner anpassade för plöjningsfria odlingssystem utvecklats i bland annat Sverige. Detta har gjorts för att minska energi- och arbetskraftskostnaderna och därigenom öka lönsamheten i växtodlingen (Andersson *et al.*, 1993), förutsatt att avkastningen har kunnat bibehållas eller ökats.

År 1987 startades åtta försök med olika odlingssystem på gårdarna Sundby och Limsta i Västmanland. Jordarna var struktursvaga på båda gårdarna vilket yttrade sig på olika sätt. På Sundby uppstod ofta problem med ytskorpa efter vårbruket medan både matjorden och alven på Limsta var förtätad. I försöken jämfördes plöjning med plöjningsfri odling, där konventionell såbäddsberedning och sådd respektive harvsådd tillämpades. Effekterna av strukturkalkning och kvävegödslingsnivå studerades också. Före 1987 hade man på Sundby bland annat provat klöver i växtföljden för att skapa en bättre struktur på jorden men något tillfredsställande resultat uppnåddes ej.

Detta examensarbete utgör en del av den slututvärdering som gjordes tillsammans med Richard Ivarsson under 1995. Här bearbetas huvudsakligen markfysikaliska effekter av plöjningsfri odling och strukturkalkning. Syftet har varit att undersöka vilka markfysikaliska faktorer som har förändrats vid plöjningsfri odling och strukturkalkning och vilken inverkan dessa har haft på avkastningen. Richard Ivarsson har gjort framförallt markbiologiska undersökningar vilka också kommer att publiceras i ett examensarbete. Tillsammans ger examensarbetena en god bild av vad som händer i marken vid plöjningsfri odling och strukturkalkning.

Studier där man i fältförsök undersökt effekterna av minskad jordbearbetning har förekommit tidigare. Rydberg (1987) fann att plöjningsfri odling gav bra resultat på platser med mulljord, lerig moränmo, mjällig lättlera och styv lera medan man på sandjordar fick skördenedsättningar om man inte plöjde. Resultatet gäller för korn och höstvetes som ingick i en undersökning med sammanlagt 186 fältförsök under en tolvårsperiod (1975-1986). I samma undersökning studerades också vilka grödor som är lämpliga för plöjningsfri odling. Det visade sig att havre i genomsnitt gav 3 % högre skörd vid plöjningsfri odling än när plöjning tillämpades. Korn och vete gav samma skörd oavsett bearbetningsteknik medan både höst- och våroljeväxter missgynnades av plöjningsfri odling (8 respektive 4 % lägre skörd).

I samband med riklig nederbörd omedelbart efter sådd reduceras evaporationen (avdunstningen från marken) avsevärt vid plöjningsfri odling, troligtvis i första hand genom en minskad igenslamning av såbädden vid nederbörd på grund av den ökade aggregatstabiliteten och en större mängd oförmultnade skörderester. Sambandet är speciellt tydligt på kapillära jordar (Rydberg, 1990). Den förbättrade vattenhushållningen kan vara en av orsakerna till att havre, som kräver mycket vatten, ger bra skörd vid plöjningsfri odling. Vid utebliven nederbörd efter sådd är avdunstningen densamma oavsett bearbetningsteknik (Rydberg, 1990).

Den plöjningsfria odlingen tenderar att ge en större andel aggregat > 4 mm i såbädden vilket också påverkar avdunstningen. Håkansson & von Polgár (1976) visade i modellförsök att såbädden bör domineras av aggregat < 4 mm för att ett effektivt avdunstningsskydd ska uppnås. Är aggregaten större ökar turbulensen av luft i såbädden och därigenom också avdunstningen (Heinonen, 1985).

För att en god uppkomst ska kunna åstadkommas måste vattenhalten där utsädet placeras vara tillräckligt hög. Håkansson & von Polgár (1976) anger som lägsta värde 5 viktsprocent växttillgängligt vatten vid tidpunkten för sådd. De platser där uppkomsten blir dålig på grund av torka kan enligt Kritz (1983) hänföras till jordar med mindre än 5 procent ler eller mer än 25 procent ler.

Risk för dålig uppkomst orsakad av skorpbildning föreligger framför allt inom intervallet 15-40 procent ler (Kritz, 1983). Man skiljer mellan ytskorpa och allmänt förhårdnande. Ytskorpan bildas vanligen på medelstyva lerjordar, när en finbrukad såbädd har igenslammats av en regnskur och sedan torkar upp. Strukturförstörelsen är alltid starkast i de översta millimetrarna. Vid allmänt förhårdnande fortsätter förhårdnandet allt djupare när jorden successivt torkar upp och omfattar så småningom hela harvningslagret. Allmänt förhårdnande är typiskt för mo- och mjälajordar, men det förekommer även på styvare lerjordar, om deras struktur har blivit förstörd under större regn eller långvarig vattenmättnad (Heinonen, 1982).

En del hävdar att ett grovt ytlager kan minska risken för igenslamning av såbädden och därigenom skapa en bättre uppkomst av grödan men åsikterna går isär. Håkansson & von Polgár (1979) fann i modellförsök inget klart samband mellan ytlagrets grovlek och uppkomsten hos korn. Fördelen med den något lägre hållfastheten i skorpan kan motverkas av att den grova såbädden är mera utsatt för uttorkning (Heinonen, 1982). Ett annat sätt att minska risken för igenslamning är att öka mullhalten i det översta skiktet vilket kan åstadkommas genom övergång till plöjningsfri odling. Aggregatstabiliteten kan då förbättras vilket gör att aggregaten inte sönderfaller lika lätt när de utsätts för regn (Chaney & Swift, 1984; Rydberg, 1987).

Kalkning med CaO eller Ca(OH)_2 kan förbättra aggregatstabiliteten på styva lerjordar. Vid kalkning ändras ofta strukturen i jorden på ett sådant sätt att porositeten ökar (Ledin, 1981). Dessutom blir en större del av jordvolymen fylld med luft, vilket kan få stor betydelse på täta jordar.

Grödorna reagerar olika på kalkning och det har visat sig att korn gynnas mer av kalkning än havre (Haak, 1992; Haak & Simán, 1992). Mengel & Kirkby (1987) anger att korn har ett högre pH-optimum än havre. En orsak till detta kan vara att den pH-höjning som kalkningen medför också innebär förändrad tillgänglighet för en del näringsämnen. När en jord kalkas kan det uppstå mangan- eller zinkbrist hos grödan om näringstillgången från början är kritisk (Haak & Simán, 1992; Mengel & Kirkby, 1987). Hylander (1995) visade att havre normalt innehåller dubbelt så hög koncentration av mangan i kärnan som korn, vilket gör att manganbrist sannolikt många gånger är en orsak till varför havren inte gynnas av kalkning.

Material och metoder

Försöksplatser

De undersökta fältförsöken tillhör projektet långliggande försök med olika odlingssystem (R2-P 76 S). Försökens läge och nummer framgår av tabell 1. Texturanalys från försöken med därtill hörande jordartsbeteckning samt försöksplatsernas P-AL- och K-AL-klasser redovisas i tabellerna 2 och 3. Vattenhalten vid den fysikaliska vissningsgränsen (1,5 MPa) var 13,6 viktstprocent på Sundby och 21,4 viktstprocent på Limsta i matjorden.

Tabell 1. Uppgifter om försökens läge och nummer

Försöksplats	Län	Försök nr	Plan nr	Koordinater
Limsta	U	7/87 8/87 9/87 155/87	R2-P76 S	N 59° 48', O 16° 35'
Sundby	U	3/87 4/87 5/87 154/87	R2-P76 S	N 59° 42', O 16° 40'

Tabell 2. Texturanalys i matjord och alv

Försöksplats	Djup	Jordart	Texturanalys (viktstprocent)							
			Ler	Fmj	Gmj	Fmo	Gmo	Ms	Gs	Mull
Limsta	0-20	mmhSL	56	15	8	6	7	2	1	4,0
	40-60		70	16	7	5	1	0,3	0,1	
Sundby	0-20	nmhML	38	15	16	20	5	2	1	2,4
	40-60		55	15	12	14	2	1	0,3	

Tabell 3. Fosfor- och kaliumklasser i matjorden i försöken på Limsta och Sundby

Försöksplats	Fosforklass (P-AL)	Kaliumklass (K-AL)
Limsta	III	IV
Sundby	IV	IV

Försöksplan

Försöken var trefaktoriella med följande led:

A = utan strukturkalk

B = med strukturkalk

10 = höstplöjning, konventionell såbäddsberedning och sådd (P)

20 = plöjningsfri odling, konventionell såbäddsberedning och sådd (PF)

30 = plöjningsfri odling, harvsådd (H)

1 = låg kvävenivå (60 % av normal)

2 = normal kvävegiva

I figur 1 visas hur försöket på Sundby var upplagt och hur grödorna var fördelade år 1995. Försöksleden var systematiskt utlagda i försöken vilket komplicerar en traditionell statistisk variansanalys. Inom ramen för detta examensarbete fanns det ej utrymme för annan statistik än uträkning av medelvärden för respektive led.

	3/87 Vårvete		4/87 Havre		5/87 Korn		154/87 Vårraps	
	A	B	B	A	A	B	B	A
30	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2
10	1	1	2	2	1	1	1	1
	2	2	1	1	2	2	2	2
20	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2

Figur 1. Fördelning av grödor, strukturkalkning, bearbetningar och kvävenivåer på Sundby 1995.

Försöken har legat i 8 år från skördeår 1988 till 1995. En fyraårig växtföljd tillämpades och lades upp så att samtliga grödor varje år representerades på båda försöksplatserna. Växtföljden var:

Havre-Korn-Våroljeväxter/Ärter-Höstvete/Vårvete

Våroljeväxterna byttes ut mot ärter år 1988 och 1990 på Sundby. På Limsta odlades ärter alla år. Vårvete ersatte höstvete år 1994 och 1995 på Sundby och år 1991, 1993 och 1995 på Limsta.

Strukturkalkning genomfördes under sensommaren-hösten 1987. På Sundby kalkade man den 24 juli med 6,5 ton kalciumoxid(CaO)/ha efter träda medan försöken på Limsta kalkades den 10 september med 9,5 ton CaO/ha. Kalkningen föregicks på båda försöksplatserna av plöjning till normalt djup och en harvning. På Limsta gjordes också en körning med rotorharv före kalkspridningen (pers. medd., Ericsson, 1995). Kalken nedbrukades med tallriksharv på Sundby och med rotorharv på Limsta.

I de plöjningsfria leden utfördes jordbearbetningen på hösten med pinnkultivatorer, tre gånger på Sundby och två gånger på Limsta. Det plöjda ledet stubbearbetades aldrig på Limsta medan försöken på Sundby varje år bearbetades en gång med kultivator före plöjningen. Bearbetningsdjupet vid kultiveringarna var 10-12 cm. Inga höstharvningar genomfördes.

Den konventionella såbäddsberedningen utfördes med 2-3 harningar. På Sundby harvades också det harvsådda ledet vissa år. Sådden i led P och PF utfördes med Juko kombisåmaskin med släpbillar. Vid harvsådden har samma såmaskin varit kopplad efter rotorharv.

Normal kvävegiva var i försöken ca 90 kg/ha för korn, havre och våroljeväxter samt mellan 90 och 110 kg/ha för höst- och vårvete. Gödsling med P och K har skett i normal omfattning.

Nederbörd

Nederbördsmängderna på Sundby från april till juli under försökstiden redovisas i tabell 4. Där framgår det att perioden april-juli var nederbördsfattig åren 1989 och 1994 medan det regnade mycket 1992 och 1993.

Tabell 4. Nederbörd på Sundby från april till juli åren 1988-1995

År	Nederbörd (mm)				
	april	maj	juni	juli	april-juli
1988	36	31	48	89	204
1989	25	33	15	59	132
1990	30	18	55	115	218
1991	9	42	113	38	202
1992	91	23	32	135	281
1993	24	40	114	143	321
1994	38	18	46	5	107
1995	79	39	56	46	220

pH

pH-analyser utfördes rutvis på Sundby. Jordproven togs ut från skikten 0-12 cm och 12-25 cm på våren, före sådd och gödsling. Jordens pH mättes i en suspension av 4,00 g lufttorr jord i 10,0 ml 0,020 N CaCl₂-lösning.

Såbäddens egenskaper

Såbäddsundersökningarna (Kritz, 1983) utfördes på båda försöksplatserna samma dag som sådden. Vid undersökningen mättes bearbetningsdjup, aggregatstorleksfördelning i såbädden (två skikt) och vattenhalt i såbädden (två skikt) och såbotten. Mätningarna utfördes i rutorna med normal kvävegödslingsnivå. På Limsta gjordes en undersökning per ruta medan två upprepningar per ruta utfördes på Sundby.

Torr skrymdensitet och porstorleksfördelning

De första tre dagarna efter sådden på Sundby, vilken skedde den 8 maj, togs jordprov i ostörd lagring ut med hjälp av stålcyllindrar. Dessa hade inre diametern 72 mm och höjden 50 mm. Proven togs med två upprepningar per ruta och nivå från såbotten (ca 4-9 cm), 17-22 cm och från plogsulan (ca 22-27 cm). Undersökningen utfördes i leden med normal kvävegödslingsnivå i försöken 3/87, 4/87 och 154/87. De vattenavförande tryck som användes motsvarade 0,05, 0,30, 1 och 6 mvp. Utifrån de uppmätta vattenhalterna vid de olika vattenavförande trycken kunde sedan porstorleksfördelningen beräknas (Andersson & Wiklert, 1972). Den fysikaliska vissningsgränsen (1,5 MPa) bestämdes på lufttorkade och malda prover från matjorden på Sundby och Limsta.

Luftgenomsläpplighet

På samma platser och djup som cylindrarna till porstorleksfördelningen togs ut på Sundby mättes också luftgenomsläppligheten i fält. Dessutom gjordes mätningar i försök 9/87 och 155/87 på Limsta. 6 mätningar per led och skikt utfördes utom i försök 3/87 och 4/87 på Sundby där 2 tester per led och skikt gjordes. Cylindrar med inre diametern 51 mm och höjden 100 mm användes. Luftgenomsläppligheten avlästes både då cylindrarna var nedslagna (K_{aiis}), så att jordprovets höjd var 5 cm, och uppgrävda (K_{aiu}). Kvoten K_{aiis}/K_{aiu} kan ge ett mått på kontinuiteten i porsystemet såtillvida att en låg kvot visar att det finns ett kompakt skikt under den nivå cylindern är nerslagen på. Luftgenomsläppligheten redovisas i $(\mu m)^2$. Metoden finns beskriven av Green & Fordham (1975).

Penetrationsmotstånd

Den 26 maj 1995 mättes jordens penetrationsmotstånd med en penetrometer Bush SP 1000 (Findlay, Skottland) på Sundby. Diametern på konen som användes var 12,83 mm. Rutor med låg och normal kvävegiva slogs ihop till en mätningsruta där 15 stick till ett djup av 50 cm utfördes. Motståndet i marken redovisas i kPa.

Dragmotstånd

I försöket på Sundby undersöktes dragmotståndet i de plöjda och harvsådda leden. Vid testet användes en buren Väderstad 17 pinnars kultivator kopplad till en Valmet 8600. Valmettraktorn bogserades av en JD 3650 och mellan traktorerna var en dragstång med en kraftavkännare kopplad. Ett bearbetningsdjup på 10 cm eftersträvades och ställdes in med hjälp av de stödhjul kultivatorn var försedd med. Hastigheten reglerades så att hastighetsmätaren på JD-traktorn visade 3,6 km/h, dvs 1,0 m/s. Den dragkraft som uppmättes inkluderade rullmotståndet hos Valmeten. Kraftavkännaren var kopplad till en logger vilken i sin tur var ansluten till en dator. Dragkraften registrerades 20 ggr per sekund och mättes under en sträcka av drygt 10 meter vilket innebär att man fick ca 200 mätvärden per led.

Kraftavkännaren bestod av ett motstånd vars resistens ökade med ökad belastning. Den var kalibrerad vid en temperatur på 20°C medan temperaturen vid körningen var 10°C. Motståndets resistens sänks om temperaturen sjunker vilket innebär att man snarare bör se de uppmätta krafterna som relativtal än som de verkliga krafterna.

Plantantal och skörd

Planträkning genomfördes höst och vår i höstvetet och på våren i vårsåden. Tidpunkten för planträkningen på våren var 3-5 veckor efter sådd. Antalet plantor inom 0,25 m² räknades med två upprepningar i alla rutor. År 1991 tas inte med i sammanställningen på Sundby på grund av att det harvsådda ledet ej såddes vid samma tillfälle som övriga led.

I varje försöksruta tröskades 33,6 m² och skörden räknades om till 15 % vattenhalt.

Resultat och diskussion

Sundby

pH

Strukturkalkningen med 6,5 ton CaO ha⁻¹ höjde matjordens pH med 0,8 pH-enheter i skiktet 0-12 cm jämfört med det okalkade ledet. I skiktet 12-25 cm var skillnaden 0,7 pH-enheter, tabell 5. Valet av bearbetningsmetod inverkade inte på pH-värdet.

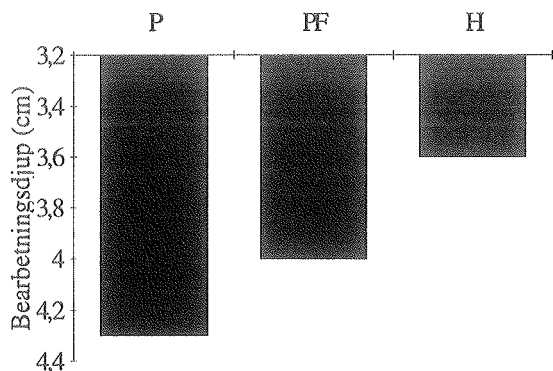
Tabell 5. pH i matjorden på Sundby april 1995

Led	pH, nivå 1 (0-12 cm)	pH, nivå 2 (12-25 cm)
Okalkat	6,1	6,1
Kalkat	6,9	6,8
Plöjt (P)	6,4	6,4
Plöjningsfritt, konventionellt sått (PF)	6,5	6,5
Plöjningsfritt, harvsått (H)	6,5	6,4

Såbäddens egenskaper

Bearbetningsdjup

Valet av jordbearbetningsmetod inverkade på det genomsnittliga bearbetningsdjupet i såbädden, figur 2. Bearbetningsdjupet var 0,7 cm djupare i det plöjda ledet än i det harvsådda. Kalkningen hade ingen effekt på bearbetningsdjupet.

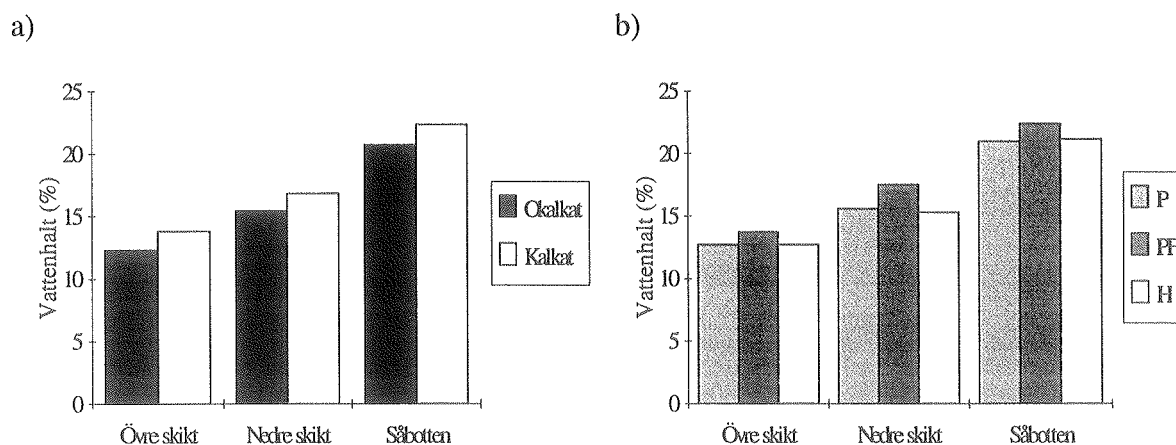


Figur 2. Bearbetningsdjup på Sundby, 8 maj 1995. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Vattenhalt

Vattenhalten i såbädden och såbotten var högre i det kalkade ledet än i det okalkade, figur 3a. Skillnaden var mellan 1,4 och 1,6 viktsprocent i de tre skikten. Den fysikaliska vissningsgränsen (1,5 MPa) för jord från skiktet 0-20 cm var 13,6 viktsprocent vatten vilket gör att kärnor på eller i såbotten inte bör ha haft några problem att gro eftersom vattentillgången var mer än 5 procentenheter över den fysikaliska vissningsgränsen.

I figur 3b redovisas vilken inverkan bearbetningen hade på vattenhalten i viktsprocent i såbädden och såbotten. Den genomsnittliga vattenhalten var något högre i PF-ledet än i P och H. Man bör vara observant på att vattenhaltsproverna togs ut från olika djup på grund av att bearbetningsdjupet varierade.



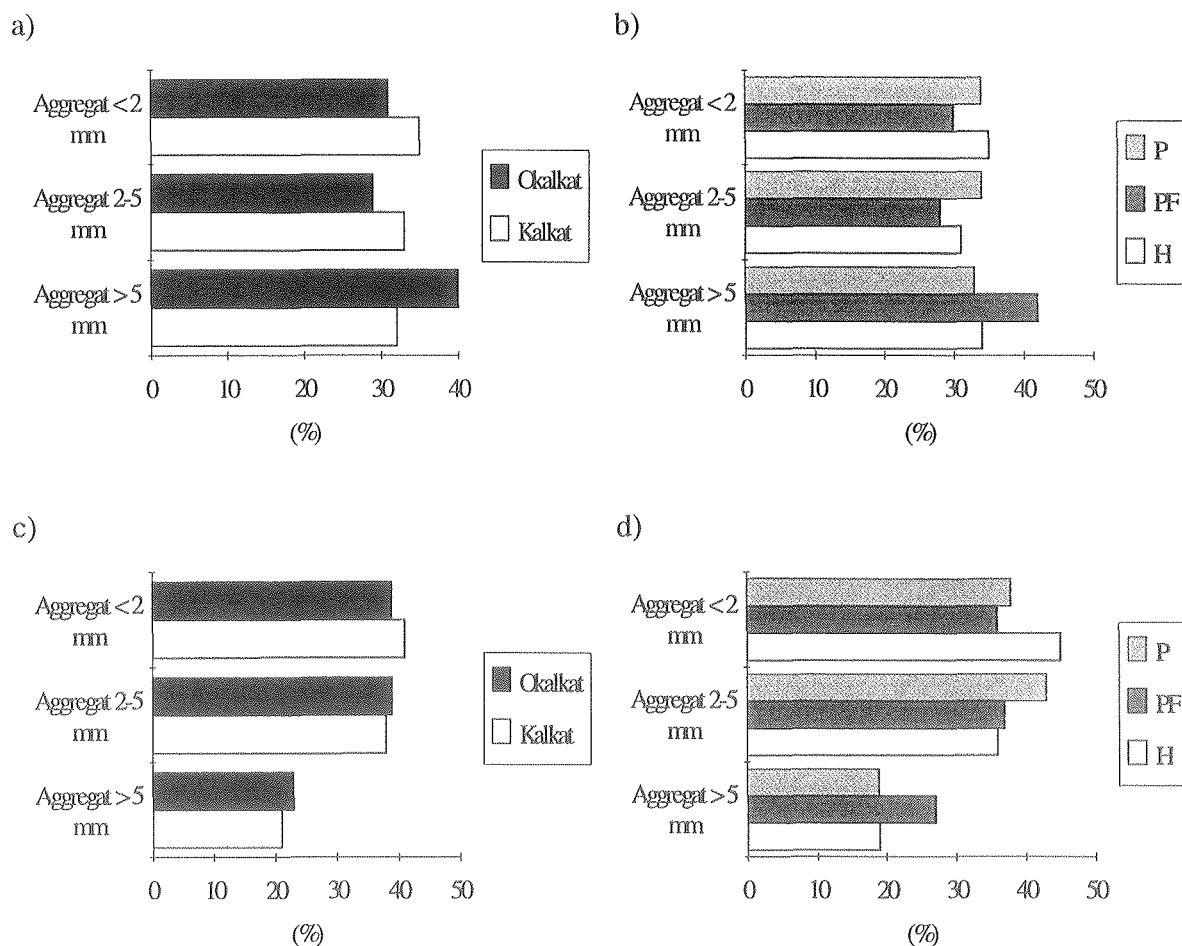
Figur 3. a) Vattenhalt i viktsprocent i såbädden indelad i två skikt och såbotten på Sundby med och utan kalk.
b) Vattenhalt i viktsprocent i såbädden indelad i två skikt och såbotten på Sundby i de olika bearbetningsleden. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Aggregatstorleksfördelning

Kalkningen hade en markant effekt på aggregatstorleksfördelningen i såbädden, speciellt i det ytligaste skiktet. Figur 4 visar att andelen aggregat <2 mm i det övre skiktet var 4 procentenheter större där strukturstyrning genomförts vilket sannolikt inverkar på avdunstningen efter sådden. En stor andel aggregat <4 mm är gynnsamt ur vattenhushållningssynpunkt. I det ytligaste skiktet av såbädden var också andelen aggregat mellan 2 och 5 mm större i det kalkade ledet än i det okalkade medan det inte fanns någon skillnad i det nedre skiktet. Andelen grova aggregat var betydligt större i det okalkade ledet än i det kalkade i det övre skiktet.

Aggregatstorleksfördelningen i de harvsådda och plöjda leden liknar varandra mycket, framförallt i det ytligaste skiktet. Där uppvisade däremot PF-ledet en mindre andel fina aggregat och en större andel grova aggregat än de båda andra leden. Samma förhållande rådde i det nedre skiktet. Rotorharven tycks detta år ha slagit sönder en del av de grova aggregat som den plöjningsfria odlingen annars verkar ge. I det nedre skiktet gav det harvsådda ledet störst andel fina aggregat.

Oavsett bearbetningsteknik och kalkningsbehandling var andelen fina aggregat större i det nedre skiktet av såbädden än i det övre.



Figur 4. a) Aggregatstorleksfördelning det övre skiktet av såbädden på Sundby med eller utan kalk.
 b) Aggregatstorleksfördelning i det övre skiktet av såbädden på Sundby i de olika bearbetningsleden.
 c) Aggregatstorleksfördelning i det nedre skiktet av såbädden på Sundby med eller utan kalk.
 d) Aggregatstorleksfördelning i det nedre skiktet av såbädden på Sundby i de olika bearbetningsleden. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Torr skrymdensitet och porstorleksfördelning

Kalken har haft liten inverkan på den torra skrymdensiteten, γ_t , se tabell 6. I det översta skiktet var γ_t något lägre där man kalkat.

Den torra skrymdensiteten i den centrala delen av matjorden (17-22 cm) var högre vid plöjningsfri odling jämfört med plöjt. Resultatet överensstämmer med tidigare erfarenheter från plöjningsfri odling (Rydberg, 1987). Denna förtätning under bearbetningsdjupet kan innebära problem med dränering och rotpenetrering men några sådana tecken syntes inte i försöken på Sundby. Man kunde ha väntat sig att PF skulle ha varit något kompaktare än H på grund av ett större antal överfarter men mätningarna visar inte detta. Skillnaden var liten mellan PF och H. På nivån 4-9 cm var den torra skrymdensiteten högre i P än i PF och H vilket sannolikt beror på en större andel skörderester på ytan i de plöjningsfria leden.

Tabell 6. Torr skrymdensitet (g/cm³) Sundby maj 1995

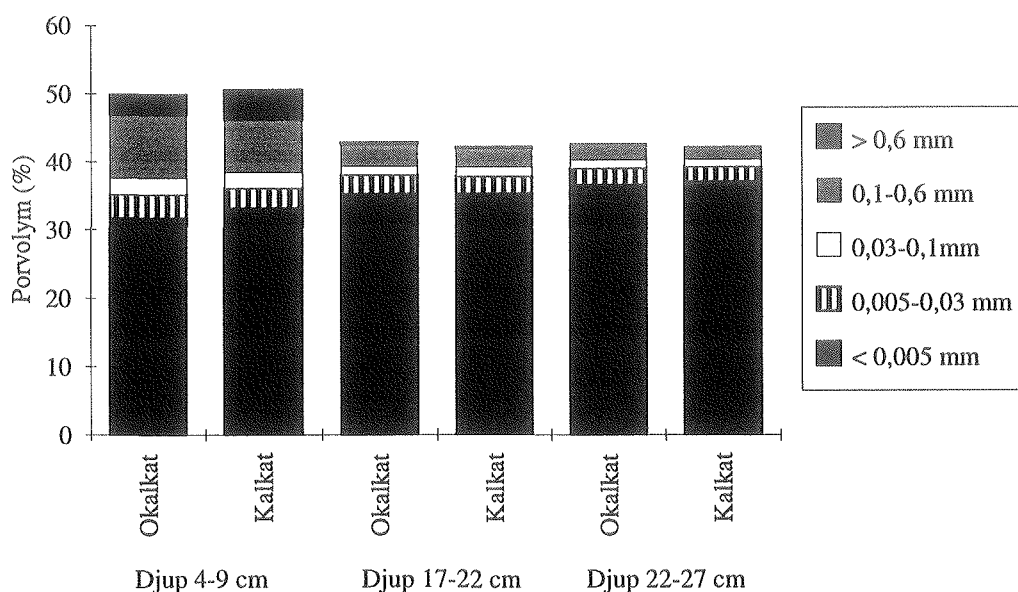
Nivå (cm)	P	PF	H	Okalkat	Kalkat
4-9	1,36	1,30	1,31	1,33	1,31
17-22	1,49	1,52	1,55	1,52	1,52
22-27	1,56	1,58	1,59	1,57	1,58

(P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Man brukar säga att 10 % av jordvolymen ska vara fylld med luft för att risken för syrebrist hos grödan ska vara liten (Dexter, 1988). Vid dräneringsjämvikt (1 m dräneringsdjup) kan man räkna med att porer mindre än 0,03 mm är vattenfyllda medan de som är större innehåller luft. Håkansson et al. (1988) menar också att porer > 0,03 mm är de som rötter i första hand penetrerar. I figur 5 visas porstorleksfördelningen i de okalkade och kalkade leden. På nivån 4-9 cm består ca 14 % av jordvolymen av porer > 0,03 mm i båda leden. Det finns en tendens till att det kalkade ledet innehåller fler porer > 0,6 mm än det okalkade ledet. En orsak till detta kan vara ett större antal daggmaskgångar där man kalkat (Ivarsson, 1996).

På nivå två och tre utgjordes endast 4 respektive 3 % av jordvolymen av porer > 0,03 mm. Nu noterades ändå inte några symptom av syrebrist. De stora porer som fanns måste ha varit orienterade på ett sådant sätt att rötternas syreförsörjning ändå kunde tryggas, det vill säga en stor andel vertikala och kontinuerliga porer.

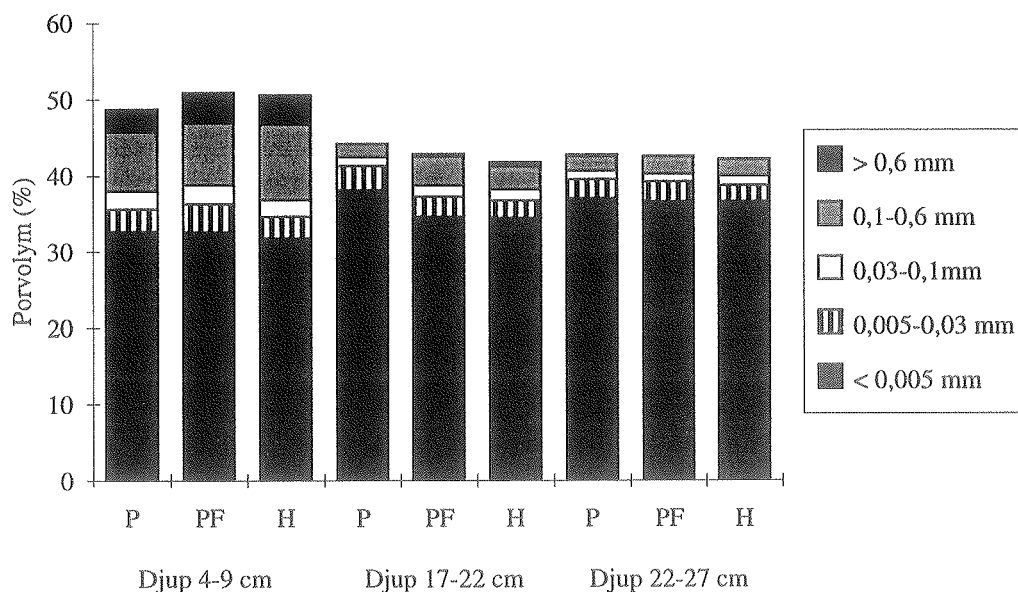
Porositeten påverkades mycket lite av kalkningen och var i skiktet 4-9 cm ca 50 %. På de djupare nivåerna var porositeten mellan 42 och 43 %.



Figur 5. Porositet och porstorleksfördelning i matjorden på Sundby med och utan kalk, maj 1995.

Valet av bearbetning inverkar på både total porositet och på porstorleksfördelning, figur 6. På den översta nivån (4-9 cm) gav de plöjningsfria leden en större andel porer > 0,03 mm än plöjt. På nästa nivå (17-22 cm) är denna skillnad ännu tydligare och här kan den ha fått en avgörande betydelse för grödans syreförsörjning och rötternas penetrationsmotstånd. Orsakerna till den större andelen stora porer i PF och H kan vara att maskarna gynnats av den plöjningsfria odlingen samt att ett stabilare spricksystem skapats där man inte plöjt. På nivån 17-22 cm var andelen porer 0,005-0,03 mm större i det plöjda ledet än i de plöjningsfria. Den

mer intensiva jordbearbetningen i det plöjda ledet kan ha medfört att stora porer tryckts samman till mindre. Porer < 0,005 mm påverkas inte av packning enligt Håkansson *et al.*(1988).



Figur 6. Porositet och porstorleksfördelning på Sundby i de olika bearbetningsleden, maj 1995. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Luftgenomsläpplighet

Aktuell vattenhalt mättes vid luftgenomsläpplighetsmätningarna och redovisas i tabell 7. De visade sig vara relativt jämna i de olika leden men det fanns några avvikande värden. I skiktet 17-22 cm var vattenhalten högre i P än i PF och H. En av orsakerna till detta var sannolikt den stora andelen porer < 0,03 mm i det plöjda ledet, vilka ej dräneras ur lika lätt som de större porerna.

Kalkningen medförde högre vattenhalt i de två övre skikten. Det är troligt att kalkningen påverkat aggregatstabiliteten och därmed gett en stabilare struktur på ytan vilket minskat avdunstningen. Nu gjordes luftgenomsläpplighetsmätningarna dagarna efter sådd men redan före vårbruket hade yttjorden i försöket slammat igen och en skorpa utvecklats. Egenskaperna hos denna kan ha inverkat på avdunstningens storlek.

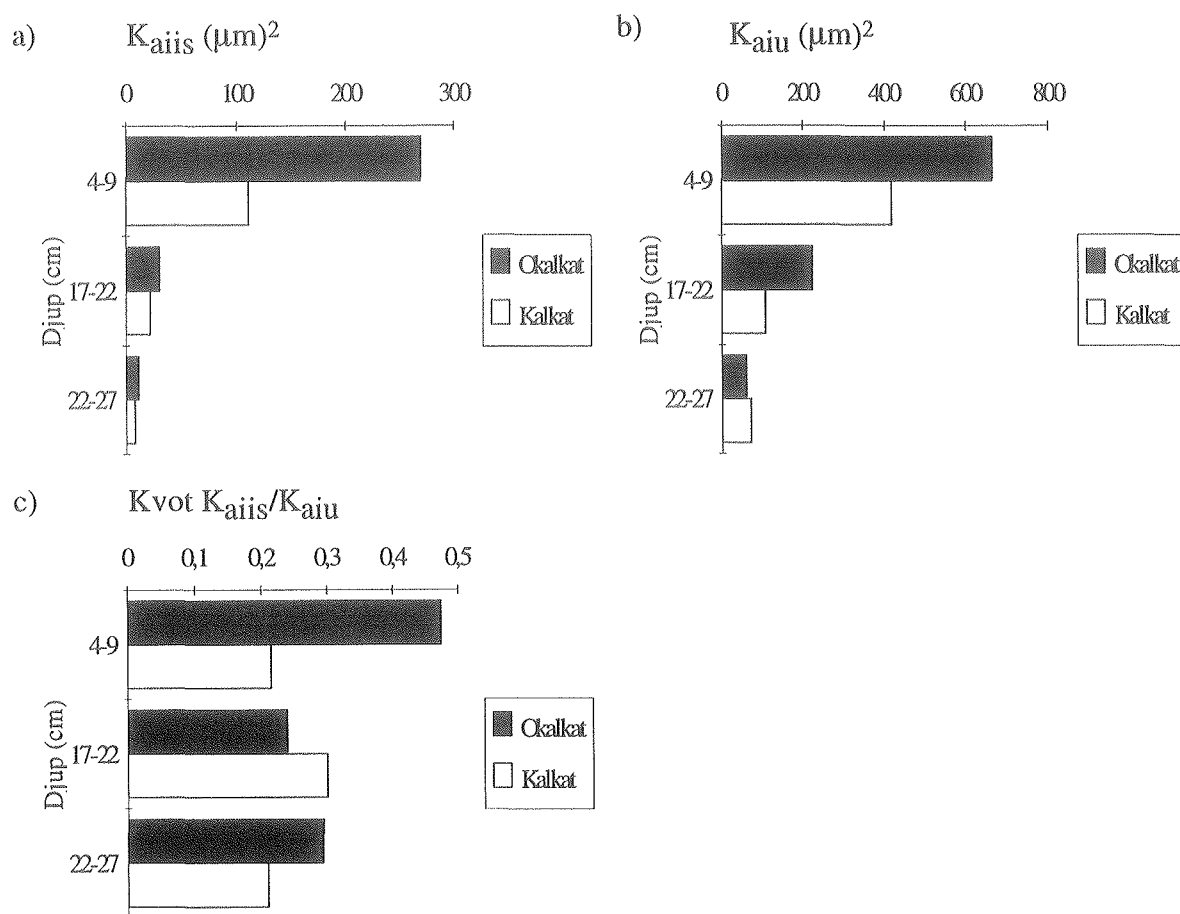
Tabell 7. Aktuell vattenhalt i viktsprocent vid luftgenomsläpplighetsmätningarna på Sundby (9-11 maj, 1995)

Nivå (cm)	P	PF	H	Okalkat	Kalkat
4-9	23	24	23	23	25
17-22	29	24	23	24	26
22-27	25	24	23	24	24

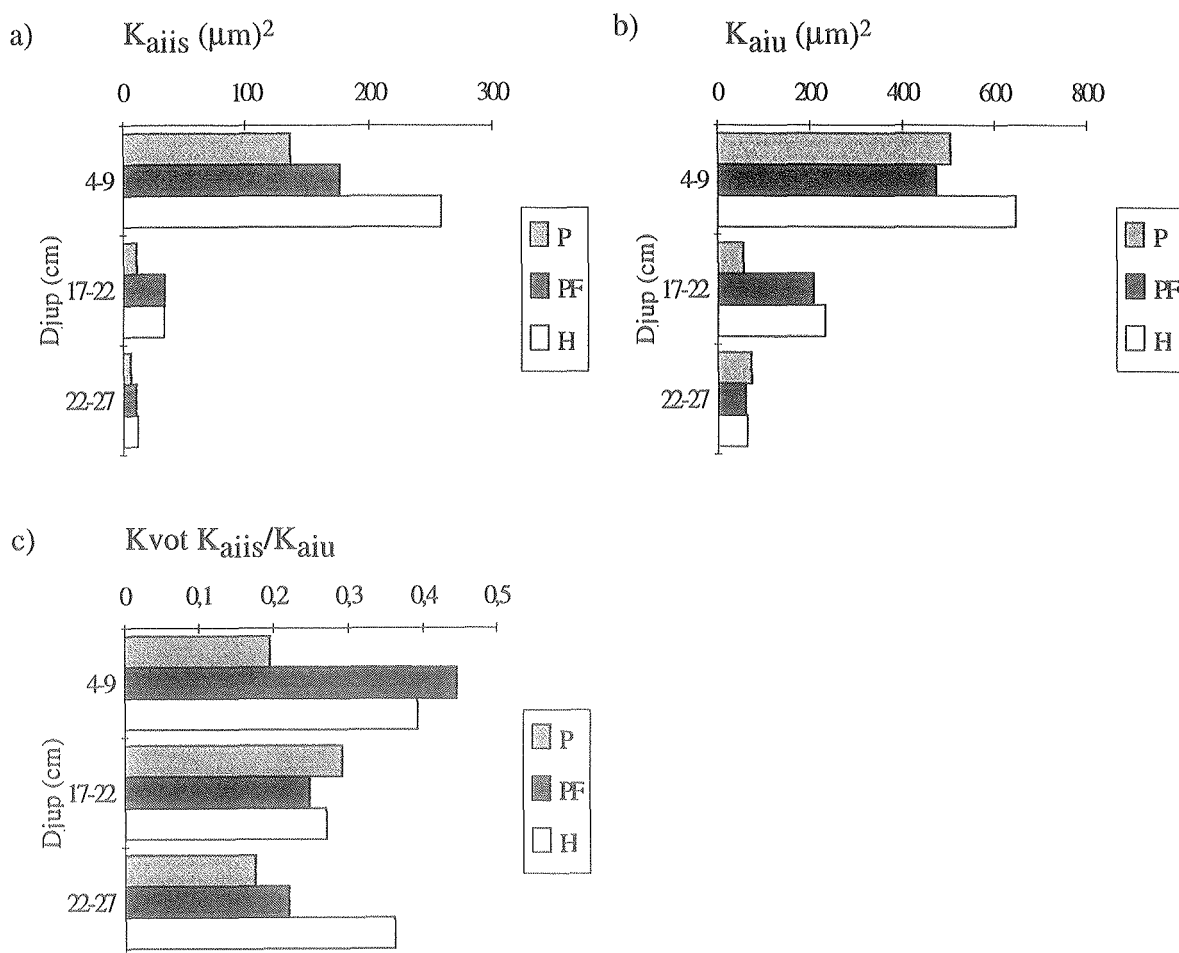
(P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Luftgenomsläppligheten var sämre i det kalkade ledet än i det okalkade både i de nedslagna cylindrarna och i de uppgrävda, se figur 7a och 7b. Resultatet är något överraskande eftersom skillnaderna vid porstorleksmätningarna var små. Den högre vattenhalten i det kalkade ledet minskade utrymmet för luften något men det kan inte förklara hela skillnaden. Sannolikt innehåller det okalkade ledet en större andel sprickor, vilka har stor inverkan på genomsläppligheten. Kvoten K_{aiis}/K_{aiu} på nivå 4-9 cm var högre i det okalkade ledet än i det kalkade, figur 7c.

De olika bearbetningarnas effekt på luftgenomsläppligheten var däremot de väntade om man antar att hög porositet och stor andel stora porer ger bra luftgenomsläpplighet. Resultatet redovisas i figur 8. Om man jämför luftgenomsläppligheten i de uppgrävda cylindrarna (figur 8b) med porstorleksfördelningen (figur 6) ser man ett samband. Man bör notera den låga genomsläppligheten i det plöjda ledet på nivån 17-22 cm djup. Figur 8c visar att kvoten K_{aiis}/K_{aiu} i det plöjda ledet är låg i det nedersta skiktet. Detta indikerar att det finns ett kompakt skikt under 27 cm djup. Det är möjligt att det prov som vi avsåg att ta ut i plogsulan hamnade något ovanför denna.



Figur 7. a) Luftgenomsläpplighet för nedslagna cylindrar (K_{aiis}) på Sundby med och utan kalk.
b) Luftgenomsläpplighet hos uppgrävda cylindrar (K_{aiu}) på Sundby med och utan kalk.
c) Kvot K_{aiis}/K_{aiu} på Sundby med och utan kalk.



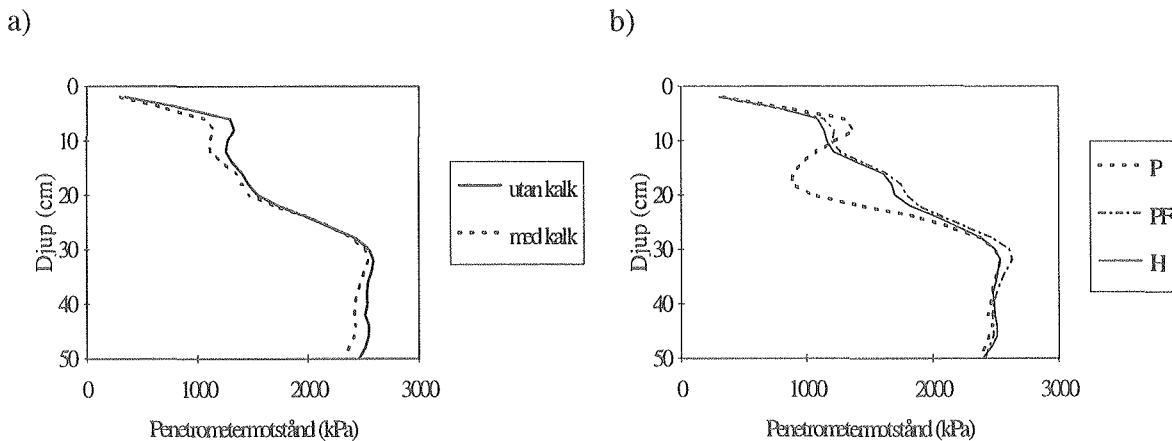
Figur 8. a) Luftgenomsläpplighet för nedslagna cylindrar (K_{ais}) på Sundby i de olika bearbetningsleden.
 b) Luftgenomsläpplighet hos uppgrävda cylindrar (K_{aiu}) på Sundby i de olika bearbetningsleden.
 c) Kvot K_{ais}/K_{aiu} på Sundby i de olika bearbetningsleden. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Penetrationsmotstånd

Vid tidpunkten för penetrationsmätningarna 18 dagar efter sådd hade en tunn ytskorpa bildats i försöket. Någon sådan går däremot inte att se i figur 9 som visar resultatet av mätningarna. Detta beror sannolikt på att det yttigaste mätvärdet registrerades på ett djup av 2 cm vilket var under skorpan.

Strukturkalkningen medförde att penetrationsmotståndet i såbotten (5-15 cm) minskade, figur 9. Vattenhalten var vid sådden högre i det kalkade ledet än i det okalkade och om samma förhållande rådde vid penetrationsmätningarna kan det förklara en del av skillnaden.

I skiktet 12-22 cm var penetrationsmotståndet högre vid den plöjningsfria odlingen än i det plöjda ledet. Orsaken till detta är sannolikt att detta skikt varje år luckrades i det plöjda ledet men ej i de plöjningsfria leden. Enligt Rydberg (1987) är det vanligt att en förtätning uppkommer på denna nivå vid plöjningsfri odling vilket kan försvåra dränering och luftväxling. Det finns också en tendens till att penetrationsmotståndet var högre i såbotten i P än i PF och H. Detta noterades också vid penetrationsmätningarna 1994 på Sundby.



Figur 9. a) Penetrationsmotstånd på Sundby 950526 i leden med och utan kalk.
b) Penetrationsmotstånd på Sundby 950526 i de tre bearbetningsleden. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Dragmotstånd

Några skillnader i dragmotstånd efter de olika bearbetningarna kunde inte uppmätas. Kalkningen hade däremot en mätbar inverkan på dragmotståndet i det harvsådda ledet. Dragmotståndet där var 4 % högre i det kalkade ledet än i det okalkade ledet. I det plöjda ledet var dragmotståndet lika stort oavsett om det var kalkat eller inte. Man bör observera att även rullmotståndet hos den traktor till vilken kultivatoren var kopplad ingick i det uppmätta dragmotståndet.

Det är möjligt att kultivatorns bearbetningsdjup kan ha ändrats under gång eftersom Valmetens hydraulik av misstag var inställd på ett läge mellan dragkraftsreglering och lägesreglering.

Plantantal

Kalkningen inverkade på antalet plantor i kornet, figur 10. I det kalkade ledet kom där i genomsnitt 6 fler plantor upp per 0,25 m² under åren 1989-1990 och 1992-1995. Kalken hade ingen inverkan på havrens uppkomst. För de olika bearbetningarna var skillnaderna i uppkomst små. Antalet plantor var i genomsnitt något färre i PF än i P och H. Plantantalet var också större i havren än i kornet.

I tabell 8 redovisas resultatet av planträkingen 1995. Värdena där skiljer sig från tidigare år såtillvida att det plöjda ledet gav betydligt bättre uppkomst än de andra leden 1995, speciellt i havren. Där gav PF och H 16 respektive 15 procent färre plantor än det plöjda ledet.

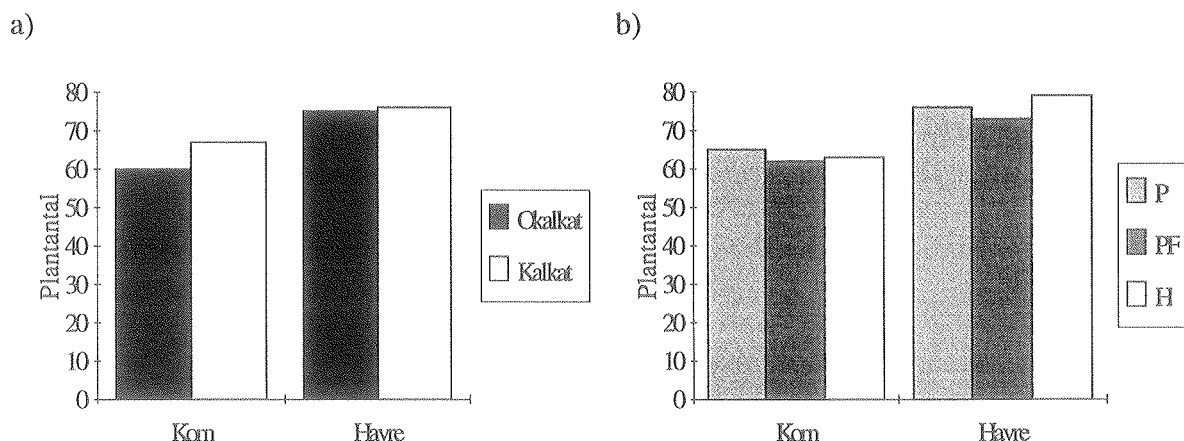
Nederbörden från sådd till två veckor efter sådd framgår av tabell 9. De år som skorpa har bildats i försöket överensstämmer inte helt med de år som nederbörden har varit störst. 1992 fick man skorpa i försöket trots att nederbörden endast var 5,7 mm under denna tidsperiod.

Effekten av nederbördens storlek från sådd till 14 dagar efter sådd på kornets respektive havrens uppkomst visas i figurerna 11 och 12. Man kan för båda grödorna se att en stor nederbörd har en tendens till att minska antalet uppkomna plantor. Ett undantag är år 1990 då

uppkomsten blev dålig när det kom 3,5 mm regn de närmaste två veckorna efter sådd. Orsaken till detta var troligen vattenbrist. År 1991 finns inte med i jämförelsen eftersom det harvsådda ledet detta år såddes före de andra leden.

Det verkar som om det harvsådda ledet är känsligare för nederbördens storlek än de andra leden. Vid liten nederbörd ger H-ledet bäst uppkomst medan uppkomsten tenderar att bli sämst i detta led om det regnar mycket.

I havren har kalkningen medfört oförändrad eller bättre uppkomst oavsett om det har kommit lite eller mycket regn.



Figur 10. a) Plantantal (0,25m²) med och utan kalk på Sundby för åren 1989-1990, 1992-1995.

b) Plantantal (0,25m²) i de olika bearbetningsleden på Sundby för åren 1989-1990, 1992-1995. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Tabell 8. Plantantal (0,25 m²) och relativtal i korn och havre på Sundby 1995

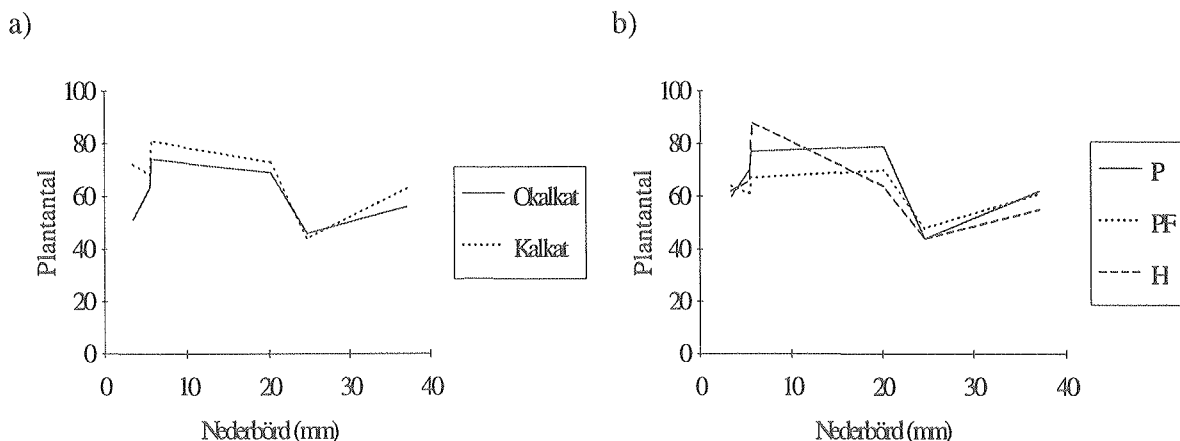
Gröda	Okalkat	Kalkat	P	PF	H
Korn	54	104	62	98	85
Havre	60	103	68	84	85

(P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

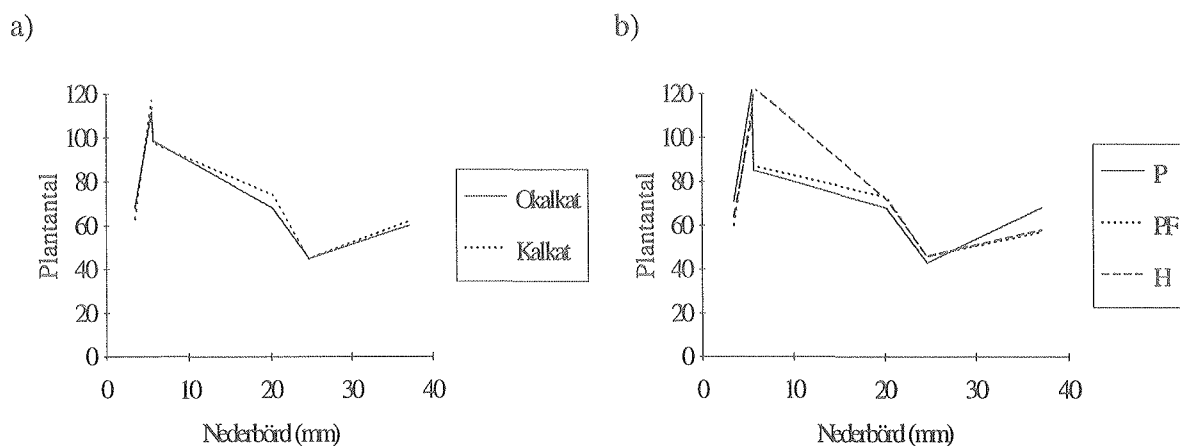
Tabell 9. Nederbörd (mm) på Sundby från sådd till 14 dagar efter sådd

År	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Nederbörd	24,7*	3,5	18,2	5,7*	5,5	20,2*	37,1*

* = Skorpa i försöket (pers. medd., Brunfelte, 1995)



Figur 11. a) Antal kornplantor ($0,25\text{m}^2$) som funktion av mängd nederbörd från sådd till 14 dagar efter sådd med och utan kalk på Sundby för åren 1989-1990 och 1992-1995.
b) Antal kornplantor ($0,25\text{m}^2$) som funktion av mängd nederbörd från sådd till 14 dagar efter sådd i de olika bearbetningsleden på Sundby för åren 1989-1990 och 1992-1995. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).



Figur 12. a) Antal havreplantor ($0,25\text{m}^2$) som funktion av mängd nederbörd från sådd till 14 dagar efter sådd med och utan kalk på Sundby för åren 1989-1990 och 1992-1995.
b) Antal havreplantor ($0,25\text{m}^2$) som funktion av mängd nederbörd från sådd till 14 dagar efter sådd i de olika bearbetningsleden på Sundby för åren 1989-1990 och 1992-1995. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Skörd

I tabell 10 sammanställs kornets, havrens och h/v-vetets avkastning i medeltal under åren 1989-1995. Där framgår det att strukturskalkningen i medeltal gav en skördeökning på 5 % för de olika grödorna. Mest gynnades kornet vilket överensstämmer med tidigare erfarenheter (Haak, 1992; Haak & Simán, 1992). Orsakerna till skördeökningen var troligen flera:

- Strukturskalkningen skapade en stabilare struktur som minskade skorpbildningen.
- Avdunstningsskyddet var bättre i det kalkande ledet vilket gynnade uppkomsten och vattenhushållningen under växtsäsongen.
- pH-värdet var troligen närmare det optimala pH-värdet där man kalkat jämfört med där man inte kalkat med avseende på växtnäringens tillgänglighet.

PF och H gav i genomsnitt en skördeökning på 1 respektive 4 % jämfört med det plöjda ledet. En anledning till detta kan vara problem med rotpenetrering och luftcirkulation i det plöjda ledet. Speciellt på nivån 17-22 cm djup visade mätningarna av luftgenomsläpplighet låga värden i det plöjda ledet samtidigt som andelen porer > 0,03 mm var liten. Det var speciellt havre och h/v-vete som gynnades av plöjningsfri odling medan kornet gav något högre avkastning i P-ledet.

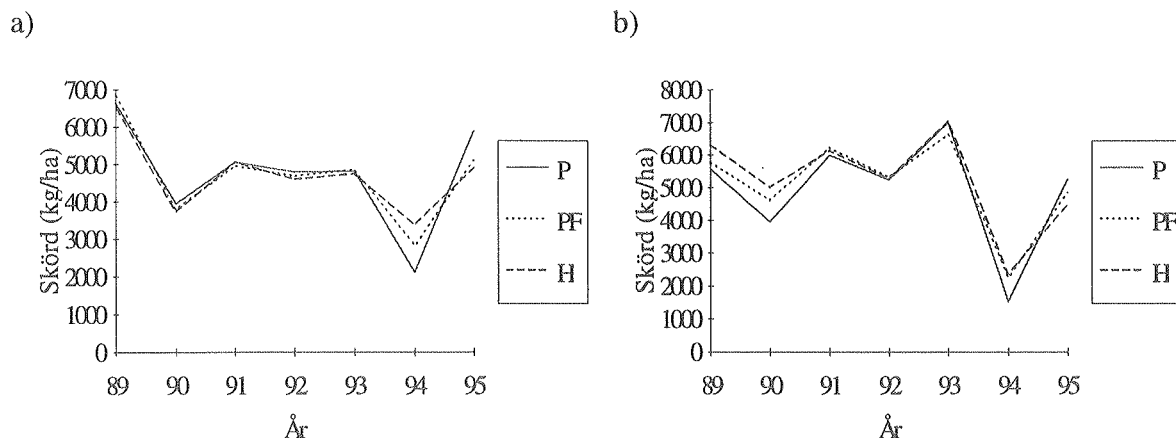
Avkastningen vid normal kvävegiva var för kornet, havren och h/v-vetet i medeltal 5208, 5380 respektive 6130 kg/ha. Ledet med den låga kvävegivan gav 14 % lägre skörd än där man gödslat med normal kvävegiva.

Figur 13 visar skördevariationen för korn och havre på Sundby med olika bearbetningar. Åren 1989, 1992, 1994 och 1995 var det problem med skorpa i försöket, tabell 9. Det går inte att konstatera att någon bearbetningsmetod var speciellt fördelaktig under dessa år. 1989 och 1994 var havreskörden högre i H-ledet än i P-ledet medan förhållandet var det omvända år 1995 både i kornet och havren. 1994 års långa torrperiod under somaren tycks ha missgynnat det plöjda ledet mer än de andra. Det är möjligt att avdunstningen där var högre på försommaren än i de plöjningsfria leden på grund av skorpbildning.

Tabell 10. Skörd av spannmål (kg/ha) och relativtal vid Sundby 1989-1995

Gröda	Utan kalk	Med kalk	P	PF	H	Kvävegiva	
						Normal	Låg
Korn	4520	110	4760	99	99	5210	82
Havre	5060	102	4940	103	106	5380	89
H/V-vete	5650	103	5600	101	106	6130	87
Samtliga	100	105	100	101	104	100	86

(P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sätt, H = plöjningsfritt, harvsått).



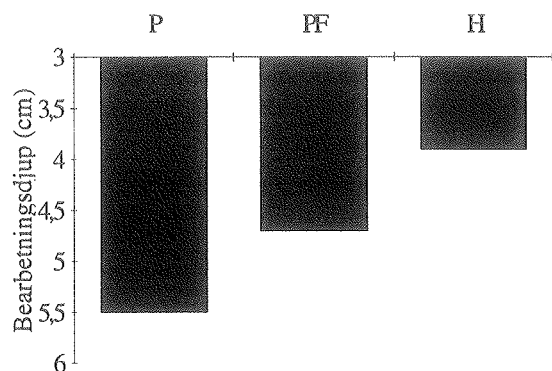
Figur 13. a) Kornskörd vid olika bearbetningar under åren 1989-1995 på Sundby.
 b) Havreskörd i de olika bearbetningsleden under åren 1989-1995 på Sundby.
 (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Limsta

Såbäddens egenskaper

Bearbetningsdjup

Strukturkalkningen gav inte några skillnader på bearbetningsdjupet på Limsta. Däremot inverkade bearbetningssystemet på bearbetningsdjupet, figur 14. I det harvsådda ledet var bearbetningsdjupet i genomsnitt 3,9 cm medan det i det plöjda ledet var 5,5 cm.



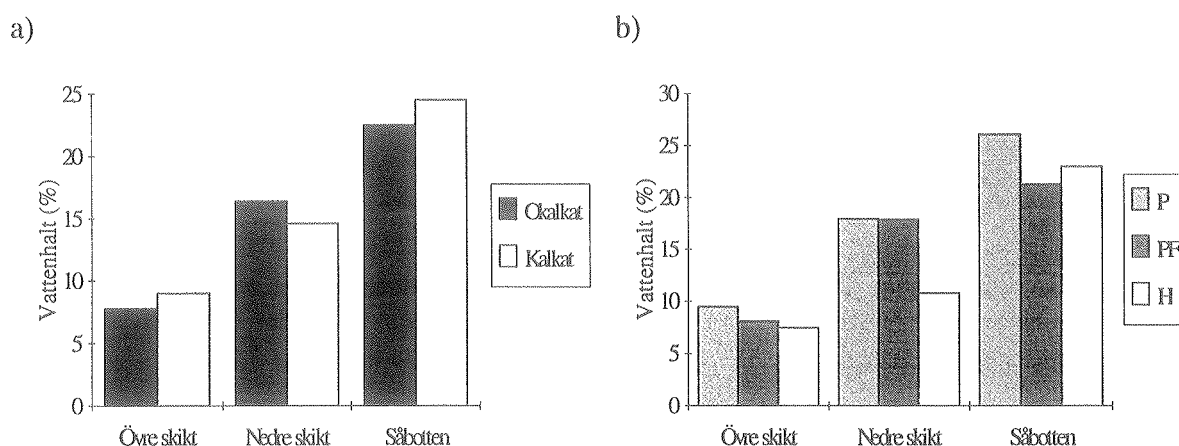
Figur 14. Bearbetningsdjup på Limsta, 31 maj 1995. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Vattenhalt

Den genomsnittliga vattenhalten var liksom på Sundby högre i det kalkade ledet än i det okalkade i det ytligaste skiktet av såbädden och i såbotten. I det nedre skiktet av såbädden var emellertid vattenhalten något högre i det okalkade ledet på Limsta., se figur 15.

Bearbetningen inverkar på vattenhalten, speciellt i det nedre skiktet av såbädden där vattenhalten var ca 7 % lägre i det harvsådda ledet än i de två andra leden. I det plöjda ledet var vattenhalten högre i samtliga skikt men vattenhaltsproven togs också ut på ett större djup där, på grund av djupare såbäddsberedning.

Den fysikaliska vissningsgränsen bestämdes till 21,4 viktsprocent vatten i matjorden. Tittar man på de aktuella vattenhalterna i såbotten kan man se att vattentillgången troligen var kritisk. Enligt Håkansson & von Polgar (1976) bör vattenhalten där kärnorna placeras vid sådd vara minst 5 % över den fysikaliska vissningsgränsen för att plantetablering utan störningar ska kunna ske.



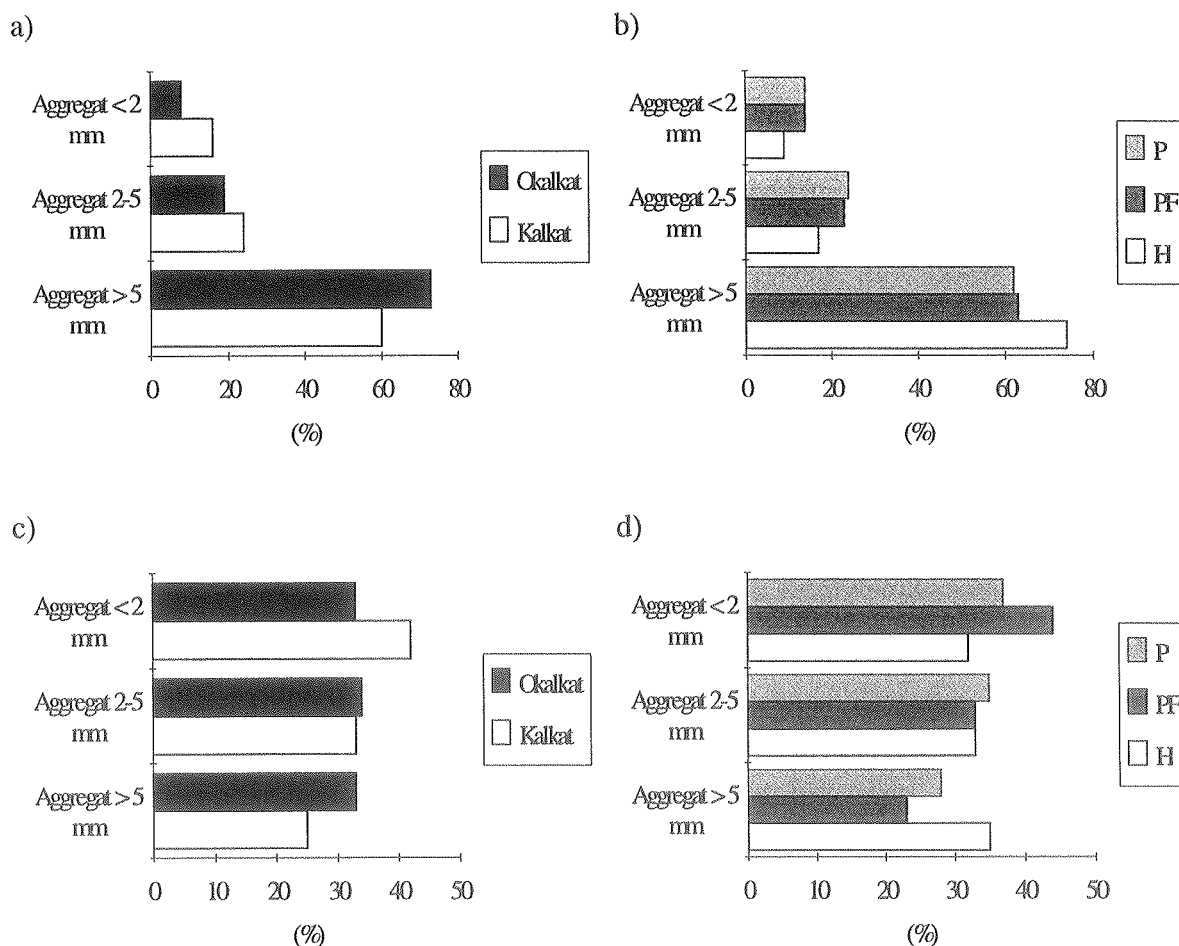
Figur 15. a) Vattenhalt i viktsprocent i såbädden indelad i två skikt och såbotten på Limsta med och utan kalk.

b) Vattenhalt i viktsprocent i såbädden indelad i två skikt och såbotten på Limsta i de olika bearbetningsleden. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Aggregatstorleksfördelning

Såbädden var mycket grov i ytan på Limsta och utgjorde därför ett dåligt avdunstningsskydd, figur 16. I det översta skiktet var andelen aggregat >5 mm 66 % i genomsnitt för de olika leden. I samma skikt var andelen aggregat <2 mm endast 9 % i det okalkade ledet. Det nedre skiktet innehöll däremot en avsevärt större andel fina aggregat, 33 % <2 mm i det okalkade ledet och 42 % <2 mm i det kalkade ledet. Kalkningen medförde precis som på Sundby en större andel fina aggregat i båda skikten av såbädden.

På Limsta gav det harvsådda ledet störst andel stora aggregat i båda såbäddsskikten till skillnad från på Sundby där det var PF-ledet som gav den högsta andelen grova aggregat. Aggregatfördelningen i det ytligaste skiktet var ungefär densamma i P- och PF-leden. Längre ner var däremot andelen fina aggregat större i PF-ledet än i det plöjda.



Figur 16. a) Aggregatstorleksfördelning i det övre skiktet av såbädden på Limsta med eller utan kalk.
 b) Aggregatstorleksfördelning i det övre skiktet av såbädden på Limsta i de olika bearbetningsleden.
 c) Aggregatstorleksfördelning i det nedre skiktet av såbädden på Limsta med eller utan kalk.
 d) Aggregatstorleksfördelning i det nedre skiktet av såbädden på Limsta i de olika bearbetningsleden. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Luftgenomsläpplighet

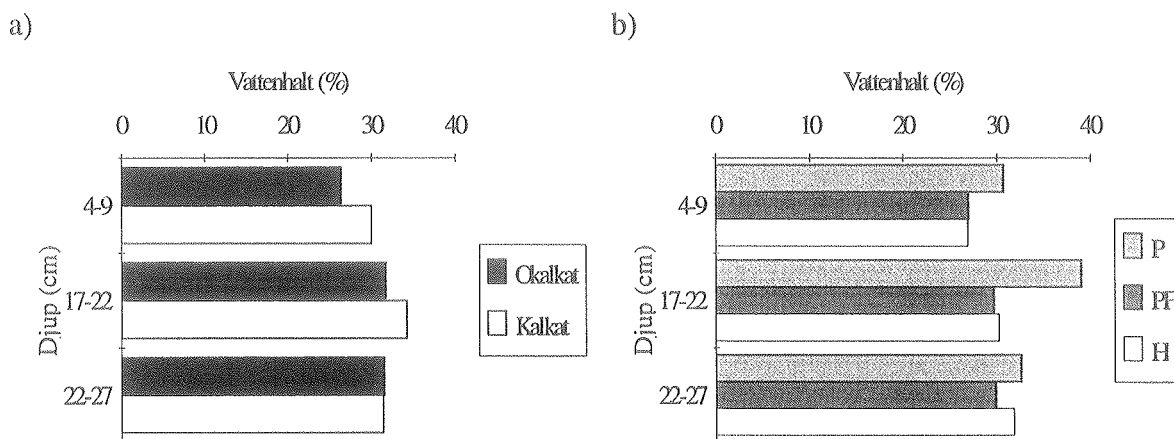
Vid mätningarna av luftgenomsläpplighet bestämdes aktuell vattenhalt på de tre nivåerna, figur 17. Det visade sig att vattenhalten var högre i det kalkade ledet än i det okalkade på nivåerna 4-9 och 17-22 cm. En av orsakerna till detta är sannolikt att andelen små aggregat var störst i det kalkade ledet vilket minskade avdunstningen.

Bearbetningen inverkar också på vattenhalten. Vattenhalten var högst i det plöjda ledet på samtliga nivåer. På nivå 17-22 cm var skillnaden cirka 10 viktprocent vatten mellan det plöjda ledet och de två andra bearbetningsleden. Troligen berodde detta på att det plöjda ledet dränerades dåligt på våren.

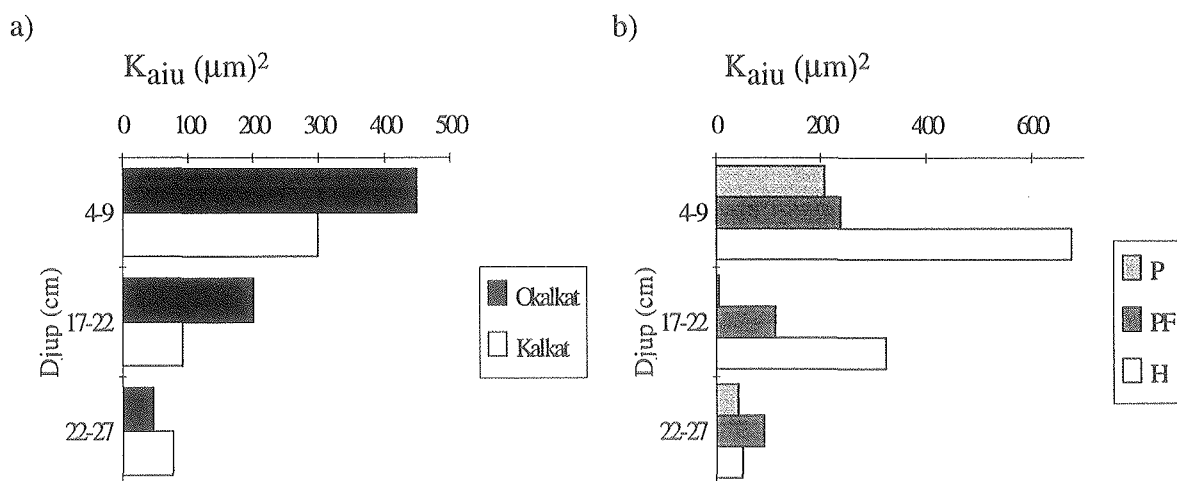
I de nedslagna cylindrarna var luftgenomsläppligheten mätbar endast i skiktet 4-9 cm. Där var K_{aiis} i det okalkade och kalkade ledet 210 respektive 49 (μm)². P, PF och H gav i samma skikt en luftgenomsläpplighet på 1,79, 107 respektive 280 (μm)². Den mycket låga luftgenomsläppligheten för det plöjda ledet kan delvis förklaras med att vattenhalten där var högre men det kan inte vara den enda orsaken. Plöjningen minskade sannolikt också andelen stora porer vilket kunde konstateras på Sundby. Luftgenomsläppligheten i de nedgrävda cylindrarna var bättre i H än i PF trots att vattenhalten var densamma.

Luftgenomsläppligheten i de uppgrävda cylindrarna, K_{aiu} , redovisas i figur 18. Strukturkalkningen medförde att genomsläppligheten blev sämre i de två översta skikten medan det inte fanns några större skillnader på 22-27 cm djup. Luftgenomsläppligheten var sämst i det nedersta skiktet och bäst på nivån 4-9 cm djup. Likheten är stor mellan resultaten från luftgenomsläpplighetsmätningarna på Sundby och Limsta, se figur 7b och 18a.

Det harvsådda ledet uppvisade högst värde på K_{aiu} i de två övre skikten. På mellannivån (17-22 cm) var genomsläppligheten bättre i de plöjningsfria leden än i det plöjda ledet trots att man inte har nått ner till detta djup vid kultiveringarna. Genomsläppligheten var bättre under plöjningsdjup (22-27 cm) än i skiktet 17-22 cm i det plöjda ledet. Eventuellt låg plogsulan ytligt (ca 20 cm) vilket skulle kunna förklara den bättre luftgenomsläppligheten i skiktet 22-27 cm.



Figur 17. a) Vattenhalt i viktsprocent med och utan kalk på Limsta vid luftgenomsläpplighetsmätningarna.
b) Vattenhalt i viktsprocent i de olika bearbetningsleden på Limsta vid luftgenomsläpplighetsmätningarna. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sätt, H = plöjningsfritt, harvsått).

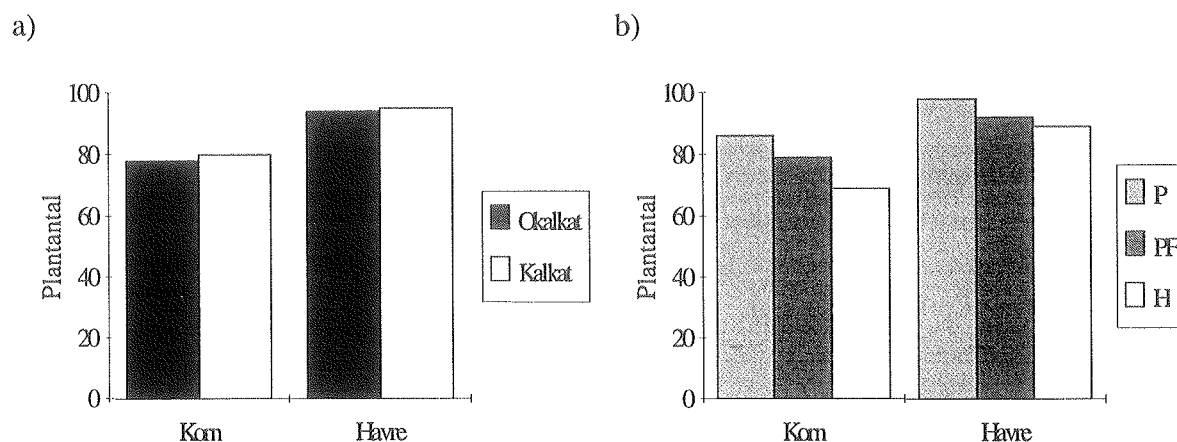


Figur 18. a) Luftgenomsläpplighet hos uppgrävda cylindrar (K_{aju}) på Limsta med och utan kalk.

b) Luftgenomsläpplighet hos uppgrävda cylindrar (K_{aju}) på Limsta i de olika bearbetningsleden. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Plantantal

Antalet uppkomna plantor per mätruta ($0,25 m^2$) var större på Limsta än på Sundby. I genomsnitt fanns i kornet och havren 79 respektive 93 plantor per ruta, vilket motsvarar 356 respektive 372 plantor per m^2 . Strukturkalkningen inverkar inte på antalet uppkomna plantor på Limsta, figur 19. I de olika bearbetningsleden fanns det däremot skillnader. I både korn och havre var uppkomsten bäst i det plöjda ledet och sämst i det harvsådda. Havren gav genomgående fler plantor än kornet vilket till stor del beror på det större antalet sådda kärnor per m^2 i havren.



Figur 19. a) Plantantal ($0,25m^2$) med och utan kalk på Limsta i genomsnitt för åren 1989-1995.

b) Plantantal ($0,25m^2$) i de olika bearbetningsleden på Limsta i genomsnitt för åren 1989-1995. (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Skörd

Korn- och havreskördarna var låga på Limsta, tabell 11. Vid normal kvävegiva avkastade de i genomsnitt 3010 respektive 3270 kg/ha under de sju åren. Sådden på Limsta utfördes oftast mycket sent på grund av att det tog lång tid innan den täta jorden torkade upp. Detta gjorde att de vårsådda grödorna blev känsliga för försommartorka vilket bidrog till den låga avkastningen. Medelavkastningen för höst- och vårvete var 4070 kg/ha. Sänktes kvävegivan med 40 % minskade avkastningen med i genomsnitt 8 %.

Strukturkalkningen gav i medeltal en skördeökning på 8 %. Ett bättre avdunstningsskydd och en förbättrad tillgänglighet på växtnäringssämnen var troligen huvudorsakerna till den högre avkastning. På Limsta var det vete som gynnades mest till skillnad från på Sundby där kornet var den gröda där kalkning medförde störst merutbyte.

Den plöjningsfria odlingen reducerade skörden på Limsta i korn och vete med mellan 6 och 12 %. I havre gav H 4 % högre skörd än P medan avkastningen i PF låg 5 % lägre. Av figur 20 framgår att den plöjningsfria odlingen under slutmätningåret 1995 gav högre skörd än det plöjda ledet. På Sundby var det tvärtom. I medeltal gick den plöjningsfria odlingen bättre men under 1995 gav det plöjda ledet högst skörd.

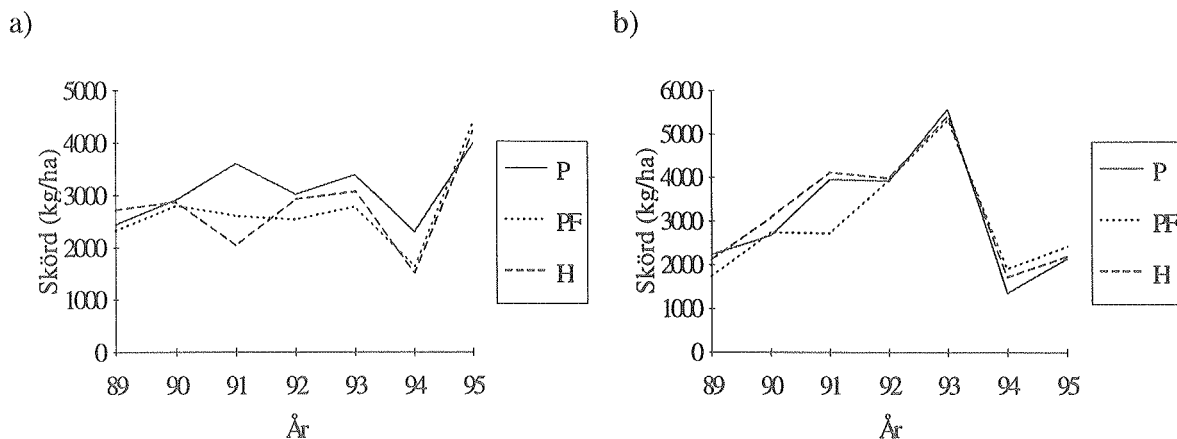
Skördarnas storlek har varierat mindre i korn än i havre under försökstiden vilket kan förklaras med att havre är mer vattenkrävande och packningskänslig. Detta gör att sådd vid fel tidpunkt ger större utslag på avkastningen. Högst kornskörd uppnåddes år 1995 medan havre avkastade mest år 1993. Både kornet och havren gav lägst avkastning år 1994 efter den torra sommaren.

Ett stort problem på Limsta var den rikliga förekomsten av kvickrot *Agropyron repens* (L.) Beauv. Vid plöjningsfri odling kan detta ogräs bli besvärligt om man vill undvika kemisk bekämpning.

Tabell 11. Skörd (kg/ha) och relativtal vid Limsta 1989-1995

Gröda	Utan kalk	Med kalk	P	PF	H	Kvävegiva	
						Normal	Låg
Korn	2740	108	3090	88	89	3010	90
Havre	3020	106	3120	95	104	3270	90
H/V-vete	3800	110	4180	94	93	4100	95
Samtliga	100	108	100	92	95	100	92

(P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sätt, H = plöjningsfritt, harvsått).



Figur 20. a) Kornskörd vid olika bearbetningar under åren 1989-1995 på Limsta.
 b) Havreskörd i de olika bearbetningsleden under åren 1989-1995 på Limsta.
 (P = plöjt, PF = plöjningsfritt, konventionellt sått, H = plöjningsfritt, harvsått).

Slutsatser

Utifrån de resultat vi fick från de markfysikaliska mätningarna på Sundby och Limsta kan man dra följande slutsatser:

- Plöjningsfri odling fungerar bra på struktursvaga jordar med ett högt mjälainnehåll.
- Havre gynnas mer än korn och vete av plöjningsfri odling.
- Strukturkalkning med kalciumoxid (CaO) höjer avkastningen på struktursvaga jordar om det höjda pH-värdet inte innebär att grödorna får brist på något näringsämne.
- Strukturkalkning ökar andelen fina aggregat i såbädden vilket förbättrar avdunstningsskyddet.
- Vattenhalten i såbädden ökar vid strukturkalkning.
- Kornets och havrens planteteblering gynnas av strukturkalkning.
- Den torra skrymdensiteten och penetrationsmotståndet blir högre i skiktet 17-22 cm vid plöjningsfri odling jämfört med plöjning.

Sammanfattning

Åren 1988-1995 genomfördes åtta långliggande försök med olika bearbetningssystem och strukturkalkning på två olika lerjordar i Västmanland. Försöksplatserna var Sundby och Limsta där jordarterna är nmh ML respektive mmh SL. På Sundby är mjälainnehållet högt vilket gör jorden struktursvag. Den styva leran på Limsta är svårbearbetad och man har tidigare haft problem med en förtätning av plogbotten. Avsikten med försöken var att undersöka hur de olika odlingssystemen fungerade på de båda problemjordarna. Under 1995 avslutades försöken och samtidigt gjordes ett antal markfysikaliska och markbiologiska mätningar. Resultatet av de markbiologiska mätningarna redovisas i ett annat examensarbete (Ivarsson, 1995).

Bearbetningsleden som jämfördes var:

- Plöjning, konventionell sådd (P)
- Plöjningsfri odling, konventionell sådd (PF)
- Plöjningsfri odling, harvsådd (H)

Strukturkalkning genomfördes med CaO i halva försöken. Dessutom reducerades gödselgivan till 60 % av normal i ett led. Varje år förekom fyra grödor på varje försöksplats.

De plöjningsfria leden gav högre avkastning än det plöjda ledet på Sundby. Bäst gick det harvsådda ledet där avkastningen i genomsnitt var 4 % högre än i det plöjda ledet. På Limsta däremot gav PF och H i genomsnitt 8 respektive 5 % lägre skörd än P. Havren var på båda försöksplatserna var den gröda som gynnades mest av plöjningsfri odling. Strukturkalkning ökade skörden på Sundby och Limsta med i genomsnitt 5 respektive 8 %. Korn och vete gynnades mer än havre. Den reducerade kvävegivan minskade avkastningen på Sundby och Limsta med 12 respektive 8 %.

Den plöjningsfria odlingen resulterade i ett grundare sådjup. På Sundby var också såbädden grövre i PF-ledet än i P-ledet. I det harvsådda ledet däremot skapade rotorharven en såbädd med en stor andel fina aggregat, vilket gav ett bättre avdunstningsskydd. Kalkningen medförde också en större andel fina aggregat i såbädden på båda försöksplatserna.

Mätningarna av porstorleksfördelning och luftgenomsläpplighet på Sundby visade att skiktet 17-22 cm djup i det plöjda ledet innehöll få stora porer och hade dålig luftgenomsläpplighet. Den torra skrymdensiteten och penetrationsmotståndet var däremot lägre i detta led än i de plöjningsfria leden (17-22 cm). Troligen har en ökad maskaktivitet vid den plöjningsfria odlingen kompenserat det kompakta skikt som uppstod under bearbetningsdjupet och skapat goda förutsättningar för luftväxling och rottillväxt (Ivarsson, 1996).

Porstorleksfördelningen i det okalkade och kalkade ledet var mycket lika på Sundby. Trots detta uppmättes en bättre luftgenomsläpplighet i det okalkade ledet på nivåerna 4-9 och 17-22 cm djup. En av orsakerna till detta var sannolikt att vattenhalten där var lägre. Det är troligt att denna vattenhaltsskillnad har uppstått genom en stabilare ytstruktur och därmed lägre avdunstning i det kalkade ledet.

Summary

From 1988 to 1995, eight field experiments at two sites with three different tillage systems and with and without structural liming were conducted in the province of Västmanland. The sites were Sundby and Limsta and the soil types were a silty clay and a clay, respectively. The soil at both sites were weak structured. At Sundby the high content of silt often caused a surface crust. The heavy clay at Limsta is difficult to till and there have earlier been problems with a compact layer under the ploughing depth. The purpose with the investigations was to examine how the tillage systems were functioning at the two problem soils. In 1995 the investigations were finished and some soil physical and biological investigations were carried out. The results from the soil biological measurements are presented by Ivarsson (1996).

The three compared tillage methods were:

- Ploughing, conventional sowing (P)
- Ploughless tillage, conventional sowing (PF)
- Ploughless tillage, power take-off (PTO) driven harrow and seeding in one operation (H)

Structure improving liming with CaO were compared with no liming. Two levels of nitrogen fertilizing were compared in the experiment, normal and 60 % of normal rate. Every year there were four crops at both locations.

At Sundby the ploughless tillage resulted in larger yield than ploughing. The best treatment was the H plots with 4 % higher yield than ploughing. At Limsta, on the contrary, the PF- and H-plots gave on average 8 and 5 % lower yield, respectively, compared with the P-plots. At both locations oats was most favoured by ploughless tillage.

Structural liming increased the yield at Sundby and Limsta with on average 5 and 8 %, respectively. Barley and wheat were more favoured than oats. The low rate of nitrogen fertilizer reduced the yield by 12 and 8 %, respectively, at Sundby and Limsta.

The ploughless tillage resulted in a shallower sowing depth. The aggregates in the seedbed at Sundby was larger in the PF-treatment than in the P-treatment. The PTO driven harrow, however, created a seed bed with a large proportion of fine aggregates, which is positive for the water budget in the soil. The liming gave a larger proportion of fine aggregates at both sites which reduces evaporation compared with a coarser seed bed.

The pore-size distribution and air permeability at Sundby showed that a layer from 17 to 22 cm depth in the ploughed treatment had few large pores and low air permeability. Dry bulk density and penetration resistance were, however, lower in this treatment than in the ploughless tillage (17-22 cm). Probably has an increased earthworm activity at the ploughless tillage compensated the compacted layer below the tillage depth and improved the conditions for root growth and air permeability (Ivarsson, 1996).

At Sundby there was no differences in pore size distribution in the unlimed and limed treatments. The higher air permeability measured in the unlimed treatment at level 4-9 and 17-22 cm was probably due to a lower water content. It is possible that the difference in water content was created by a more stable surface structure and thereby greater reduction of evaporation in the limed treatment.

Litteraturförteckning

- Andersson, P., Claesson, S. & Ingemansson, J., 1993. Vad innebär EG för svensk spannmåls- och oljeväxtodling. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 418. Allmänt. SLU. Uppsala.
- Andersson, S. & Wiklert, P., 1972. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. Institutionen för lantbrukets hydroteknik. Särtryck ur Grundförbättring 1772: 2-3.
- Chaney, K. & Swift, R.S., 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *Journal of Soil Science* 35: 223-230.
- Dexter, A. R., 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research* 11: 199-238.
- Green, R. D. & Fordham, S. J., 1975. A field method for determining air permeability in soil. Soil physical conditions and crop production. Ministry of agricultural fisheries and food.
- Haak, E., 1992. Mark- och skördeeffekter i de permanenta kalkningsförsöken 1962-1991. Regionalt informationsmöte, Flen 1992-12-16. SLU.
- Haak, E. & Simán, G., 1992. Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar till olika basmättnadsgrad. Institutionen för markvetenskap. Avdelningen för växtnäringslära. SLU. Uppsala.
- Heinonen, R., 1982. Jordens igenslamning och förhårdnande. Speciella skrifter 12. SLU. Uppsala.
- Heinonen, R., 1985. Soil management and crop water supply. Institutionen för markvetenskap. SLU. Uppsala.
- Hylander, L., 1995. Inconsistent liming effects: a causal analysis. Department of Soil Sciences. Reports and Dissertations 25. SLU. Uppsala.
- Håkansson, I. & von Polgár, J., 1976. Modellförsök med såbäddens funktion. Såbädden som skydd mot avdunstning. Institutionen för markvetenskap. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 46. SLU. Uppsala.
- Håkansson, I., & von Polgár, J., 1979. Effects on seedling emergence of soil slaking and crusting. Hohenheim.
- Håkansson, I., Voorhees, W.B. & Riley, H., 1988. Vehicle and Wheel Factors Influencing Soil Compaction and Crop Response in Different Traffic Regimes. *Soil & Tillage Research* 11: 239-282.
- Ivarsson, R., 1996. Plöjningsfri odling och strukturkalkning på lerjordar. Institutionen för markvetenskap. Meddelanden från jordbearbetningsavdelningen 22. SLU. Uppsala.
- Kritz, G., 1983. Såbäddar för vårstråsäd. Institutionen för markvetenskap. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 65. SLU. Uppsala.

- Ledin, S., 1981. Physical and micromorphological studies of the effects of lime on a clay soil. Institutionen för markvetenskap. SLU. Uppsala.
- Mengel, K. & Kirkby, E.A., 1987. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. Bern.
- Rydberg, T., 1987. Studier i plöjningsfri odling i Sverige 1975-1986. Institutionen för markvetenskap. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 76. SLU. Uppsala.
- Rydberg, T., 1990. Effects of ploughless tillage and straw incorporation on evaporation. Soil & Tillage Research 17: 303-314.

Personliga meddelanden

- Brunfelter, E., 1995. Sundby gård. Tillberga.
- Ericsson, A., 1995. Hushållningssällskapet Västmanland. Västerås.

MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Nr	År	
1	1992	Johan Arvidsson, Sixten Gunnarsson, Lena Hammarström Inge Håkansson, Tomas Rydberg, Maria Stenberg, Bo Thunholm: 1990 års jordbearbetningsförsök. 40 s.
2	1992	Mats Tobiasson: EKOODLAREN - En studie av ett kombinationsredskap för sådd och ogräshackning, utförd våren och sommaren 1991. Examensarbete. 19 s.
3	1993	Mats Tobiasson: Såbillar för reducerad bearbetning. Undersökningar av nya såbillar för odlingssystem med reducerad bearbetning, utförda 1991 och 1992. 23 s.
4	1993	Anna Borg: Flöden av kväve och fosfor i Forshällaåns avrinningsområde - beräkning av olika källors bidrag till växtnärlingsläckaget. Examensarbete. 45 s. <i>Flows of nitrogen and phosphorus in the Forshällaån watershed - estimations of the contributions from different sources to the leaching of plant nutrients.</i> 45 pp.
5	1993	Thomas Grath: <i>Effects of soil compaction on physical, chemical and biological soil properties and crop production.</i> 101 pp.
6	1993	Estela Pasuquin: <i>Tillage influences on soil conditions and crop response under dry weather in the Philippines and in Sweden.</i> 62 pp.
7	1994	Hans Pettersson: Radhackning i stråsäd med ny hackutrustning. Examensarbete. 28 s. <i>Rowhoeing in cereals with new hoeing equipment.</i> 28 pp.
8	1994	Jörgen Lidström och Lars Olsson: Nya såmaskiner för reducerad bearbetning. Examensarbete. 57 s. <i>New drills for reduced tillage.</i> 57 pp.
9	1994	Sara Lindén: Tidig start och tillväxt av sockerbetor. Examensarbete. 37 s. <i>Early start and growth of sugarbeets.</i> 37 pp.
10	1994	Sasa Ristic och Tomas Rydberg. Optimering av bearbetningsintensitet och jordpackning samt studier av markfysikaliska orsaker till ojämna bestånd i oljeväxter. 13 s.
11	1994	Jennie Andersson: Vattenhaltsmätningar med TDR (time domain reflectometry) och neutronsond i försök med tidig sådd av korn. 37 s. <i>Soil moisture measurements with TDR (time domain reflectometry) and neutron probe in a field experiment of early sown barley.</i> 37 pp.

Nr	År	
12	1994	Anders Gustafsson: Totalinnehåll och djupfördelning av organisk substans i mångåriga plöjningsdjupsförsök. Examensarbete. 25 s. <i>Total content and vertical distribution of organic matter in long-term experiments with different ploughing depths. 25 pp.</i>
13	1995	Sixten Gunnarsson och Göran Kritz. Olika bearbetningssystem i potatisodlingen. 12 s. <i>Different tillage systems and potato growth. 12 pp.</i>
14	1995	Daniel Johansson: Groning och plantetablering vid låga temperaturer i kärkförsök och i fältförsök med tidig sådd. 35 s. <i>Germination and plant development at low temperature in pot and field experiments. 35 pp.</i>
15	1995	Åse Littorin Johansson: Radhackning i stråsäd. 28 s. <i>Row hoeing in cereals. 28 pp.</i>
16	1995	Johan Arvidsson: Återpackning vid sådd i plöjningsfri odling. 12 s. <i>Recompaction in ploughless tillage. 12 pp.</i>
17	1995	Inge Håkansson, Editor: <i>Reports of project works by participants in the course "Soil Tillage and Related Soil Management Practices". 73 pp.</i>
18	1995	Johan Arvidsson & Virginius Feiza: Låga ringtryck i odling med och utan plöjning. 20 s. <i>Low inflation pressure in conventional and ploughless tillage. 20 pp.</i>
19	1995	Anna Lena Carlsson: Näring, kadmium och bakterier i hushållsavlopp - En fältstudie av ett urinsorterande avloppssystem med lecabädd i Östhammar. 50 s. <i>Plant nutrients, cadmium and bacteria in household wastewater - A field study of a urine separation system combined with a leca-filter in Östhammar. 50 pp.</i>
20	1996	Carl Blackert: Plöjningsfri odling och strukturräkning på lerjordar. Effekter på markfysikaliska egenskaper och avkastning. 29 s. <i>Ploughless tillage and structural liming on clay soils. Effects on soil physical characteristics and yield. 29 pp.</i>

